

以数控程序逆向 3D 数模

中船重工西安东仪科工集团有限公司 (陕西 710065) 刘一博 张 涵
四川工程职业技术学院 (德阳 618000) 杨光华

实践中,会遇到利用逆向技术追溯原 3D 数模的情况,一般方法是通过三坐标测绘数据,再通过三维软件生成模型测量需要的部分。对于已经有数控加工程序的工件,是不需要三坐标测绘的,因为数控程序就来源于 3D 数模,可以把数控程序中的数据看作工件表面的测绘值,这些数据是直接或间接的表面数据,合理地均布在工件表面。

程序的数值不是准确值,这些值的误差是生成程序软件内部算法及公差设置的偏差,只要程序能加工出合格产品,那么数据的误差可以看作为零。这比三坐标有更高的精度,它剔除了三坐标测量过程中由于人为因素产生的误差,还有工件加工过程中机床、刀具和温度等因素带来的加工误差。

1. 刀路及逆向算法

数控程序的逆向,必须理解程序的生产原理、技巧,加工要素与程序之间的算法关系。依据不同的要素,数控程序分为多种类型。

按维数可分为,三轴程序和多轴程序(含四轴)。按机床分,有加工中心(数铣)、数控车和线切割等。按照插补方式分,带插补的程序(G41, G42)和不带插补的程序(G40)。按使用刀具分,有车刀、立铣刀和球头刀等等。

图 1 是个加工原理展示,工件表面是球形,球头刀(BALL_MILL)接触工件的点连续变化,下面的线条表示刀具中心点的轨迹,也是数控程序的数值(无插补 G40,一般曲面加工用),此数值沿刀轴矢量方向(此处以三轴为例,方向就是 Z 轴)抬高一个球头半径,是球心点位置,轨迹是球面曲线偏置一个球心半径的同心圆。加工表面、数控程序数值、球心轨迹,三者之间的算法关系,是逆向算法

的基础。其他因素,如插补、刀具形状也必须考虑。

对于插补二维程序(非曲面,只有 XY 运动),程序数据本身就是工件测量结果数值,刀具直径不用考虑,Z 轴值只是数模某个空间里的深度。

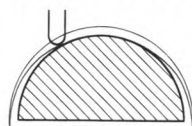


图 1

2. 逆向过程

加工复杂零件,是以 CAM 软件生产程序。不同 CAM 软件的算法、精度设置会有差异,但基本过程原理是相同的。这里以 UG 为例,生成加工程序的过程如图 2 所示。逆向技术则是按相反的方向求出加工区域,如图 3 所示。

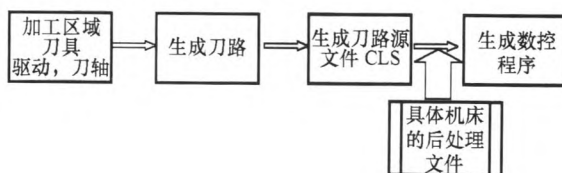


图 2

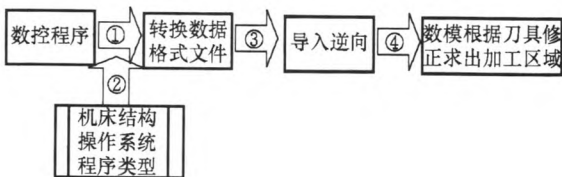


图 3

(1) 三轴及数据处理:以加工中心数控铣为例,车床原理是一样的。对于三轴曲面加工,把精加工部分程序单独截取出来处理,简单的处理方法是:用文本编辑器,把程序处理成逆向软件可以识别的数据格式。如图 4 所示,这是海德汉系统的程序,每一行开头都有字母 L,表示这是直线。对于 XYZ 可以简单地替代成某个标识(不同的逆向软件的点文

件格式会有差别)。

```
116 L X+22.0332 Y-77.8706 Z+.9895 R F M
118 L X+22.1407 Y-78.0386 Z+.9791 R F M
120 L X+22.2448 Y-78.2087 Z+.9686 R F M
122 L X+22.3455 Y-78.3809 Z+.9582 R F M
124 L X+22.4428 Y-78.555 Z+.9477 R F M
```

图 4

因为三轴机床结构简单，都遵循右手法则定义各轴方向，其中没有旋转轴，所以不用做特殊数据转换，流程图中的②可以不用。

将转换好格式的数据文件导入 UG 软件，这些数据就是工件表面的测绘数据，可以逆向出数模，但是这个数模需要修正，对于三轴联动程序，一般没有插补，程序表示的刀中心点的值。

原理前面说过了，那么这个数模还不是真实外形，需要把表面偏置一个球头刀的半径，才是真实的数模。

(2) 多轴逆向：对于多轴（主要指五轴），流程②是一个复杂的问题，多轴机床的结构多样性，A \ B \ C 三个旋转轴中组合出两个轴，那么就要三种组合 (XYZAB, XYZAC, XYZBC)，机床旋转轴运动方式分正交与非正交机床，那么组合后就有六种结构了。

操作系统：常见的多轴操作系统是海德汉、西门子，系统不断在升级，对于老式的系统，它的程序表示的原理是不同的，以海德汉为例，新的操作系统里，机床可以跟踪到刀尖位置，程序点就是加工要素表面的关联数据值，对于没有刀尖跟踪的机床（或者程序），那么程序的数据表示的是机床各个轴实际的运动，而非加工要素。

程序的表示类型：多轴程序分点位程序、与矢量程序，这两者是不同的。表示的含义也不同，矢量程序描述的是加工要素点的特征（点位坐标，刀具在这点的矢量）。点位程序则是当前点的数值与旋转轴的数值。

多轴数控程序的复杂性及含义：如图 5 所示，D₁/D₂ 是两把不同的球头刀与工件接触在同一点 B，刀具轴线相对工件空间方向（刀具轴线矢量）不同，D₁ 刀具的尖点是 C，D₂ 尖点是 A，一段标准的海德汉五轴刀尖跟随程序如下：

```
0170 L X76.874 Y63.957 Z39.104 A -81.496 C -56.45
0180 L X79.429 Y60.754 Z39.717 A -81.496 C -56.45
0190 L X81.852 Y57.448 Z40.33 A -81.496 C -56.45
```

X/Y/Z 表示的刀尖点的坐标值，A/C 表示机床旋转轴空间里的角度位置，图 5 中 A 点和 C 点不是同一点，所以在五轴程序里 X/Y/Z 的坐标值也不同，D₁/D₂ 空间方向不同，分解后旋转角度 A/C 轴也不同，切削（接触）同一点的程序就完全不同。

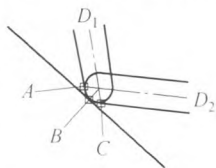


图 5

逆向时，A 点的数据才是工件的表面数据，求得接触点的数据，就需要一个 CAM 软件生产程序（后处理文件）的逆向算法，但是这个逆向算法只能求得刀具球头中心点的坐标，无法求得接触点的数值。

下面是数控程序逆向矢量算法公式，用分解后的角度，逆向求出矢量。

$$\begin{pmatrix} i \\ j \\ k \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin A \times \sin C \\ -\sin A \times \cos C \\ \cos A \\ 0 \end{pmatrix}$$

球心点与加工要素点有个特殊的位置（算法）关系，就是工件表面偏置一个球刀半径后，得到的曲面就是球刀球心点扫率过的曲面。利用这个特殊关系，就可以逆向出 3D 数模。

流程如图 6 所示。



图 6

对于另外一种常见刀具，带圆角的铣刀（MILL）俗称牛鼻刀，它相对于工件接触的有些不同，算法会不同。

五轴程序里，按铣削的接触不同，有点接触（工件表面）、线接触和面接触。如图 7 所示，一个是刀具球头弧面某一点接触工件，一个是刀具侧刃接触。还有一种更简单的，就是面接触，实际是平刀

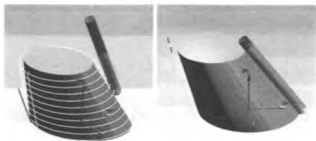


图 7

的地面接触到工件表面，加工要素也是一个平面，定向加工，这种情况可以简化到三轴范畴。

线接触的五轴程序，刀具轴线平行于工件的某条表面直线，距离是刀具半径。这种逆向就是刀具轴线扫率过得曲面，偏置刀具半径。**MW**

（收稿日期：20140421）